

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ильясовой Маргариты Вадимовны «Применение методов нейтронной и гамма спектроскопии для изучения поведения быстрых ионов в плазме токамака», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 - физика плазмы

В настоящее время на ряде существующих тороидальных магнитных ловушек, таких как JET, ASDEX Upgrade, DIII-D, Alcator C-Mode, проводятся эксперименты по нагреву D-D и D-T плазмы в которых рождаются α -частицы, с энергией, превышающей средние температуры ионов трития и дейтерия. Достаточно часто в экспериментах на этих токамаках наблюдаются неустойчивости, вызванные быстрыми ионами. Неустойчивости в свою очередь ухудшают удержание ионов и представляют серьезную угрозу для надежной работы термоядерного реактора. Продолжается так же строительство токамака ITER. Этот токамак призван продемонстрировать научную и технологическую осуществимость использования термоядерной реакции в мирных целях. ИТЭР спроектирован под DT реакцию, в которой коэффициент усиления мощности составит $Q \leq 10$, а нагрев плазмы α -частицами будет доминировать над другими видами нагрева.

Кроме того, эксперименты на действующих магнитных ловушках, как правило, проводятся в дейтериевой плазме с внешним источником быстрых ионов, т.е. энергичные ионы генерируются посредством дополнительного ионного циклотронного резонансного нагрева или инъекции пучка нейтральных атомов, а также их комбинацией. Таким образом, изучение поведения быстрых ионов в плазме токамака становится одной из наиболее актуальных задач настоящего этапа термоядерных исследований.

На современном этапе развития термоядерных исследований в мире, когда в большинстве тороидальных ловушек удерживают дейтериевую или дейтерий тритиевую плазму с высокими температурами, диагностики, предназначенные для измерения быстрых ионов, являются чрезвычайно важными. На основе разработанных автором методик созданы спектрометры нейтронного излучения, которые были использованы в экспериментальных исследованиях на токамаках ТУМАН-3М и Глобус-М2. А разработанные автором методики изучения распределений быстрых ионов были применены в экспериментальных исследованиях плазмы на токамаке JET, что позволило оценить энергетическое и угловое распределение α -частиц, удерживаемых в токамаке.

Одним из результатов данной работы является разработанная методика измерения функций отклика спектрометров на моноэнергетические нейтроны. Она может быть использована для калибровки скintилляционных спектрометров и создания спектрометра нейтронного излучения. Можно порекомендовать использовать полученные результаты для создания нейтронного спектрометра для построенного крупнейшего в России токамака Т-15МД. На токамаке Т-15МД предполагается использовать такие дополнительные методы нагрева плазмы, как инъекция нейтрального пучка, ионный и электронный циклотронный нагрев. Предполагаемые параметры плазмы – плотность $5.0 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$, ионная температура $T_i = 2-3 \text{ кэВ}$ – достаточно высокие, поэтому возможны интенсивные потоки нейтронов в дейтериевой плазме.

Несомненным достоинством работы является практическое применение разработанных методик и созданных спектрометров в экспериментах на токамаках ТУМАН-3М, Глобус-М2 и JET, что позволило автору получить ряд ценных экспериментальных данных. Например, на токамаке ТУМАН-3М - измерить время спада

нейтронного потока и дать оценку времени удержания быстрых ионов, на токамаке Глобус-М2 – получить спектр энергетического распределения нейтронного излучения, а на токамаке JET - получить энергетическое и угловое распределение удерживаемых α -частиц. За исключением двух опечаток, обнаруженных в тексте, к оформлению автореферата трудно придаться. По содержанию автореферата есть два небольших замечания:

- на странице 15 написано «Из разложения гамма-спектра на две линии оценен коэффициент ветвления переходов в основное (I_0) и первое возбужденное состояние (I_1) в ${}^5\text{Li}$ как $I_0/I_1=1,12\pm 0,18$. Оно согласуется со значением $I_0/I_1=1,0\pm 0,2$, полученным в работе [18] при $E_D = 480$ кэВ». Параметр E_D нигде больше не встречается. Читателю невозможно понять, что это за параметр, и какую роль он играет при измерении коэффициента ветвления переходов.
- здесь же, следующий абзац: «Используя среднее значение коэффициента ветвления $\langle B \rangle = 4,69 \times 10^{-5}$, была получена оценка скорости протекания $D({}^3\text{He}, p){}^4\text{He}$ реакции в видимом объеме плазмы, усредненная по трем разрядам #94698, 94700, 94701, равная $\sim 5,79 \times 10^{13} \text{ c}^{-1}$ ». Здесь следует уточнить как в данном случае определяется коэффициент ветвления. Иначе возникает вопрос о корректности сравнения средней скорости генерации α -частиц и интенсивности $D-{}^3\text{He}$ реакции, которое следует ниже в тексте данной работы.

Указанные выше небольшие замечания не влияют на положительное восприятие работы в целом. Таким образом, на основании представленного автореферата я могу сделать вывод, что диссертация Маргариты Вадимовны Ильясовой имеет большое значение для развития спектрометрии нейтронного и гамма-излучения как диагностики быстрых ионов в термоядерной плазме соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Ильясовой М.В. рекомендовано присудить ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 Физика плазмы.

С обработкой моих личных данных, связанных с защитой диссертации, согласен.

Заведующий лабораторией ионно-циклотронного нагрева

отдела физики плазмы ИОФ РАН, к.ф.-м.н.

А.И. Мещеряков

21.10.2022

Подпись заведующего лабораторией к.ф.-м.н. А.И. Мещерякова заверяю

ВРИО ученого секретаря ИОФ РАН, д.ф.-м.н.

З.В. Глушков